

EVALUACION DE PRESTACIONES Y SIMULACION DE PERDIDAS EN RADARES PULSADOS

Elías De los Reyes Davó, Javier Fernández de Muniain, Antonio Elías Fusté.
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Grupo AMR.
E.T.S.I. Telecomunicaciones. Universidad Politécnica de Cataluña.

ABSTRACT

This paper shows the influence of several loss factors on radar systems. It deals specially with those loss factors which are due to atmospheric effects, such as refraction, reflexion and the rain effects on radar system performance.

INTRODUCCION

Todo sistema RADAR puede interpretarse casi completamente a través de una expresión conocida como *Ecuación del Alcance RADAR*, que relaciona entre sí los parámetros internos y de diseño del sistema, con aquellos otros parámetros y variables externos al mismo, que degradan sus prestaciones y lo hacen apartarse del comportamiento para el que había sido diseñado.

En una primera aproximación, puede considerarse como ecuación del radar:

$$R^4 = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 F K T_o B (S/N)} \frac{1}{L} \quad (1)$$

donde:

P_t : Potencia de pico del radar. (w)
 G : Ganancia máxima de la antena.
 λ : Longitud de onda de trabajo. (m)
 σ : Sección recta radar del blanco. (m²)
 F : Factor de ruido del receptor.
 B : Ancho de banda equivalente del receptor.
(S/N): Relación señal a ruido en el receptor.
 L : Todos los posibles factores que puedan afectar la ecuación.
 R : Alcance del radar. (m)

donde los factores P_t , G , λ , F y B , pueden considerarse como propios ó internos al sistema y el resto, como parámetros susceptibles de tomar valores no predeterminados, excepto las constantes K (cte. de Boltzman = $1.38 \cdot 10^{-23} \frac{W}{Hz \cdot K}$) y T_o (Temperatura de referencia = 290 °K).

En este trabajo se van a tener en cuenta las modificaciones en la ecuación debidas a factores externos al radar, como son pérdidas atmosféricas, pérdidas debidas a hidrometeoros, efectos de refracción y de reflexión y, en general, cualquier motivo de pérdidas que se pueda encontrar en un sistema radar. Las degradaciones se medirán en términos de reducción de alcance y también como reducción de relación S/N en recepción que nos implicará una disminución en la Probabilidad de Detección de blancos.

De este modo, la ecuación (1) puede escribirse, a efectos de evaluar las degradaciones del sistema, como

$$R^4 = R_0^4 \cdot K_1 \cdot \frac{1}{L_1} \cdot \frac{1}{L_2} \cdot \frac{1}{L(R)} \quad (2)$$

donde:

$$R_0^4 = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 F K T B (S/N)} \quad \text{Alcance inicial, sin degradaciones.}$$

K_1 : Modificación del alcance por efectos de la integración de pulsos.

L_1 : Reducción del alcance debido a las pérdidas generales de un sistema radar.

L_2 : Modificación del alcance debido a efectos de reflexión y de refracción atmosféricas.

$L(R)$: Pérdidas dependientes de la propagación :

- Atenuación atmosférica.
- Atenuaciones debidas a hidrometeoros y partículas externas a la atmósfera.

En este trabajo se realiza una simulación de cada uno de estos factores para diferentes circunstancias; de este modo se pueden aplicar los resultados que se obtienen para cualquier sistema radar real, e incluso se pueden realizar diseños de radares, evaluando previamente las posibles pérdidas y degradaciones a que se va a ver sometido el diseño.

INTEGRACION DE PULSOS

Un procesado habitual que se suele realizar en sistemas radar, consiste en tomar como base de la detección todo el tren de pulsos devuelto por un blanco, en lugar de basarse en los resultados de un único pulso. De este modo puede aumentarse la Probabilidad de Detección de blancos, en un factor casi proporcional al número de pulsos integrados, incluso en los casos en los que la relación S/N en detección para un único pulso, se encontrara cerca de los 0 dB.

En un procesado ideal, la integración consistiría en la suma de las energías de todos los pulsos integrados en un filtro en recepción, anterior a la detección de envolvente. Como resultado, se obtendría un valor de relación $(S/N)_n$ efectiva de los n pulsos, igual a la relación (S/N) de un solo pulso multiplicado por el número total de pulsos, n .

Este proceso es conocido como integración coherente, en contraposición a la integración en video ó en post-detección, que se realiza en prácticamente todos los radares reales. Una forma de medir esta integración es mediante la ganancia de integración

$$G_i = \frac{(S/N)^n}{(S/N)} = n^\gamma \quad (3)$$

donde el parámetro γ conocido como eficiencia de integración, toma valores entre 0.7 y 0.9.

En general, se describe la eficiencia de la integración mediante las *pérdidas de integración*, L_i , que representan la diferencia entre la ganancia en potencia efectiva que se logra realizando integración no coherente, y la que se conseguiría mediante integración coherente:

$$L_i = 10\log(n) - 10\log(n^\gamma) = 10(1-\gamma)\log(n) \quad (4)$$

Este factor de pérdidas es el que afectará la ecuación del radar (1), reduciendo la mejora que se produce para el caso de integración sin pérdidas, $G_i = n$. Así, el factor global que afecta la ecuación es

$$K_1 = \frac{n}{10(1-\gamma)\log(n)} \quad (5)$$

PERDIDAS

En la evaluación de las prestaciones finales del sistema, hay que tener en cuenta una gran cantidad de factores que degradan el comportamiento del sistema y que en este trabajo se han incluido bajo el nombre genérico de pérdidas. Entre estos factores se han simulado los efectos de:

- * Pérdidas en las líneas de transmisión en RF.
- * Efectos del Factor de Ruido real de la cascada de cuadripolos en recepción.
- * Pérdidas de eficiencia de la antena.
- * Pérdidas por desadaptación del ancho de banda del filtro adaptado.
- * Pérdidas de estabilidad de la ganancia y del umbral.
- * Pérdidas debidas al operador.

Estos motivos de pérdidas son los que se consideran generalmente incluidos en el factor L_1 de la ecuación del radar (1) y afectan a dicha ecuación con un factor constante, que puede llegar en conjunto a suponer unas pérdidas de unos 6 - 8 dB.

EFFECTOS DE LA REFRACCION Y REFLEXION ATMOSFERICAS

El hecho de encontrarnos en condiciones no ideales de atmósfera, va a hacer aparecer dos elementos más correctores de la ecuación de partida, y que por lo tanto van a suponer una modificación del alcance. Son los efectos de las posibles interferencias causadas por las reflexiones ó *multipaths* y de los efectos que ejerce la atmósfera sobre las ondas.

La variación en el índice de refracción de la atmósfera, hace que las ondas electromagnéticas, no viajen en línea recta, sino que sufran una curvatura de su trayectoria que depende de una gran cantidad de parámetros, casi todos ellos de naturaleza estadística, como son humedad relativa, temperatura, concentración de partículas en suspensión en la atmósfera (contaminación), latitud y altura del radar, época del año e incluso de la hora del día.

Esta curvatura en la trayectoria seguida por los ecos del blanco puede causar errores en el posicionamiento exacto del blanco que pueden crear desapuntamientos de la antena ó errores de altitud, y, por lo tanto, supondrán un factor de pérdidas que añadir a la ecuación inicial de partida.

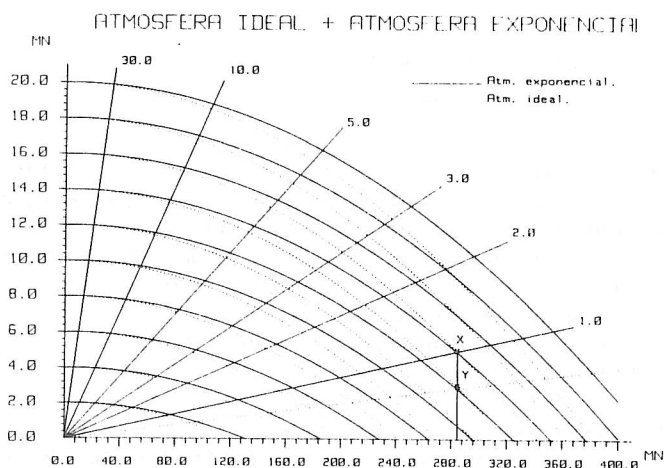
En este trabajo se realizan simulaciones del comportamiento de un radar general en condiciones no ideales de la atmósfera. En particular, se consideran los resultados para dos atmósferas distintas; una atmósfera sencilla con variación lineal de la refractividad y que es válida para blancos en alturas por debajo de 50.000 pies (Tratada según el modelo de tierra plana con radio efectivo de la tierra = $4/3$ del radio real), y otra atmósfera más compleja, conocida como *Atmosfera exponencial standard de referencia*, definida por el CCIR como:

$$N = (n-1) \cdot 10^6 = N_s \cdot \exp(-C_s h) \quad (6)$$
$$= 313 \cdot \exp(-0.077677 \cdot h_{MN})$$

con h_{MN} : altura en Millas Nauticas sobre el nivel del mar

Los efectos de la curvatura de los rayos pueden apreciarse en la figura adjunta. En ella se han superpuesto las curvas de altura constante para los casos de atmósfera exponencial y atmósfera ideal (sin refracción). Esta representación es conocida como diagrama alcance-elevación-altura, y es

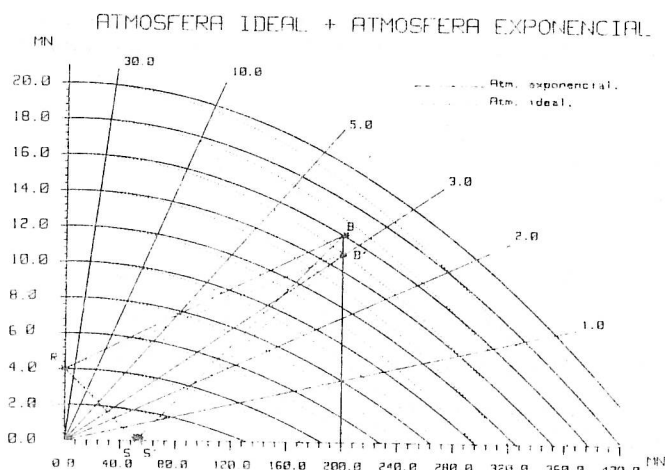
muy utilizada para ver los diagramas de radiación de antenas y evaluar cómo varían éstos al encontrarse en un condiciones atmosféricas reales.



Se puede observar en la figura el error que se produce al evaluar la altura a la que se encuentra un blanco, x, situado a unas 280 MN. Según la dirección de llegada de los ecos al radar (elevación de 1° sobre la horizontal), se deduce una altura del blanco de unas 16 MN. sobre el nivel del mar, si no se consideraran los efectos de la atmósfera. Sin embargo, sabiendo la influencia de la atmósfera exponencial, se puede deducir la altura real del blanco: 14 MN.

Este error de unas 2 MN., más de 3.5 Km., puede llegar a ser muy importante sobre todo a efectos de interceptación. El efecto inverso, que se da cuando se conocen la distancia y la altura real del blanco, también puede llegar a ser muy importante, ya que ejerce una degradación directa sobre la ecuación del radar. Para el ejemplo anterior, dado un blanco a la misma distancia que anteriormente, y para una altura real del mismo de unas 14 MN., el no considerar los efectos atmosféricos, nos llevaría a apuntar la antena en la dirección OY, cuando la dirección de llegada de los ecos es la OX. Esto supone un desapuntamiento de la antena cercano a 0.5° , con las pérdidas que esto conlleva.

Sobre estos mismos diagramas alcance-elevación-altura, se pueden observar los efectos de la reflexión en el suelo. En este caso, considerando el radar R, situado a una altura de unas 4 MN y el blanco B, a una altura real de unas 16 MN :



Se observa en dicho diagrama que el retardo $\Delta' = RB' - RS'B'$ que se admitiría como válido si no se tuvieran en cuenta los efectos atmosféricos, es inferior al retardo real $\Delta = RB - RSB$, que se produce debido a la influencia de la atmósfera, lo cual supone un nuevo factor de error.

PERDIDAS DEPENDIENTES DE LA PROPAGACION

Este factor, denominado $L(R)$ en la ecuación del radar (1), se ha tenido en cuenta por separado de los demás factores porque aunque al igual que los otros, su influencia modifica el alcance del radar, a diferencia de éstos, al modificarse el alcance, se modifica también el propio factor corrector. Debido a esto, nos encontramos frente a problemas recursivos que tienen que resolverse mediante iteraciones numéricas.

Dentro de este apartado se han simulado dos efectos principalmente:

- * Pérdidas atmosféricas. Atenuaciones de las ondas debido a la acción de los gases, principalmente O_2 y $H_2O(v)$
- * Pérdidas por hidrometeoros. Aquí se incluyen los efectos de la lluvia, nieve, niebla y efectos de la contaminación.

En estos dos casos se deduce un valor, α , de la atenuación en dB/MN, tras lo cual se procede a resolver la ecuación

$$R^4 = R_0^4 \times 10^{-0.1 \cdot \alpha \cdot R} \quad (7)$$

la cual se va iterando para valores de R entre 0 y R_0 , hasta que se llega a un resultado con la exactitud deseada.

Como valores para la atenuación atmosférica se han tomado los recomendados por el CCIR para el oxígeno y el vapor de agua. Es de destacar que se puede llegar a tener valores importantes de la atenuación, sobre todo a las frecuencias de resonancia de las moléculas de oxígeno y vapor de agua y a frecuencias por encima de 30 Ghz.

En los problemas causados por los hidrometeoros, principalmente la lluvia, hay que considerar dos efectos adversos al sistema. Por un lado el efecto de atenuación de las ondas radioeléctricas, y por otro lado, existe el problema causado por el *clutter* de lluvia ó nieve, que puede llegar a reducir drásticamente el alcance del radar. Este problema es más crítico todavía cuando el blanco a detectar se encuentra inmerso en la zona de lluvia ó nieve.

El cálculo del alcance resultante cuando existe una zona con precipitaciones en los alrededores del radar se realiza a partir del proceso iterativo:

$$R_d^4 = \frac{R_w^4}{\Psi} + R_w^2 \cdot \frac{P_t G \lambda^2 c \tau}{32 \pi^2 F K T B} \cdot \sigma_u \quad (8)$$

donde:

R_d : Alcance del sistema en tiempo seco.

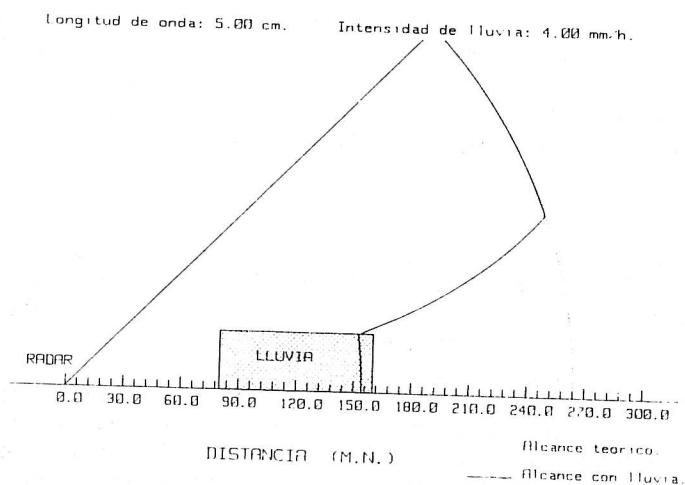
R_w : Alcance del sistema con precipitaciones.

Ψ : Atenuación. $10\log(\Psi) = -2 \cdot \alpha \cdot R_w$

σ_u : Sección recta por unidad de volumen de lluvia.

Los factores α (dB/MN) y σ_u (m^2/m^3) son las variables que dependen de la intensidad de la precipitación y son los que se han parametrizado a fin de evaluar su influencia para cualquier situación posible en un sistema radar.

Los resultados de las simulaciones se presentan en unos diagramas de alcance como el de la figura:



En la figura se puede ver cual es la influencia de la precipitación, en este caso de lluvia, sobre un sistema radar que trabaje a una frecuencia de 6 Ghz, y con un alcance teórico (sin contabilizar las pérdidas debidas a lluvias), de unas 265 MN.

Para este sistema, una zona de lluvia de 80 MN de largo situada a 80 MN. del radar y con una intensidad de 4 mm/h (lluvia bastante intensa), ejerce unas pérdidas sobre el radar, tales que el alcance queda reducido, en la zona de influencia de la lluvia, en unas 100 MN.

REFERENCIAS

- | | |
|--|--------------------|
| [1]- RADAR SYSTEM DESIGN and ANALYSIS. | |
| S.A. Hovanesian. | ARTECH HOUSE, INC. |
| [2]- RADAR DETECTION. | |
| J.V. DiFranco W.L. Rubin. | ARTECH HOUSE, INC. |
| [3]- RADAR TECHNOLOGY. | |
| Eli Brookner. | ARTECH HOUSE, INC. |
| [4]- RADAR SYSTEM ANALYSIS. | |
| David K. Barton. | ARTECH HOUSE, INC. |